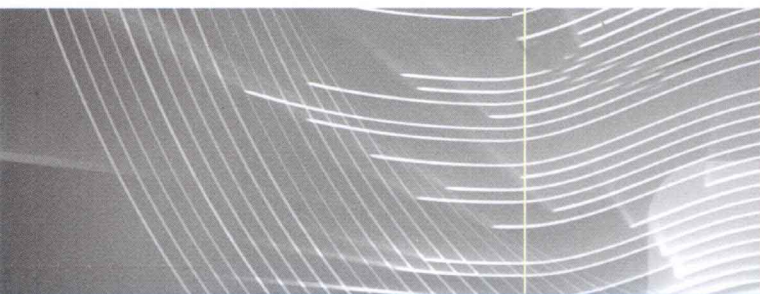


普通高等教育“十二五”规划教材

制冷与低温工艺

主编 程有凯 副主编 谢晶



普通高等教育“十二五”规划教材

制冷与低温工艺

主 编 程有凯
副主编 谢 晶
参 编 韩吉田 高红岩 谈向东
 王美霞 杨春光 张 丽
主 审 张建一



机械工业出版社

本书的制冷工艺部分着重介绍了冷库制冷工艺、运输用制冷装置、小型及专用制冷装置,详细介绍了冷库制冷工艺基础,氨、氟制冷系统及系统供液方式,制冷设备的选型与计算,机房、库房的制冷工艺及制冷系统管理工艺,复叠制冷及食品速冻装置等。低温工艺部分着重介绍了气体液化及天然气液化工艺。

本书可作为热能与动力工程专业的本科生教材与参考书,也可以作为相关专业本科、专科的参考教材,同时还可以作为从事制冷与低温工程及相关专业的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与低温工艺/程有凯主编. —北京:机械工业出版社,
2012.8

普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-38830-2

I. ①制… II. ①程… III. ①制冷工程—高等学校—教材
②低温工程—高等学校—教材 IV. ①TB6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第129569号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 张丹丹 邓海平
版式设计:纪敬 责任校对:张薇
封面设计:张静 责任印制:乔宇
三河市国英印务有限公司印刷
2012年8月第1版第1次印刷
184mm×260mm·13.5印张·329千字
0001—3000册
标准书号:ISBN 978-7-111-38830-2
定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育规划教材

编审委员会

(按姓氏笔画排列)

- | | | | |
|--------|----------|-----|------------|
| 主任：郭烈锦 | 西安交通大学 | | |
| 副主任：王立 | 北京科技大学 | 张华 | 上海理工大学 |
| | 上海交通大学 | 沈胜强 | 大连理工大学 |
| | 机械工业出版社 | 高翔 | 浙江大学 |
| | 重庆大学 | | |
| 委员：王军 | 华中科技大学 | 杨莱 | 上海理工大学 |
| | 北京石油化工学院 | 杨昭 | 天津大学 |
| | 山西大学 | 汪建文 | 内蒙古工业大学 |
| | 重庆大学 | 陆靓燕 | 武汉工程大学 |
| | 北京建筑工程学院 | 周玉明 | 重庆科技学院 |
| | 北京工业大学 | 周静伟 | 中国计量学院 |
| | 东北电力大学 | 金苏敏 | 南京工业大学 |
| | 山东大学 | 姜水生 | 南昌大学 |
| | 河海大学 | 闻建龙 | 江苏大学 |
| | 兰州理工大学 | 徐斌 | 河南科技大学 |
| | 北京交通大学 | 袁文华 | 邵阳学院 |
| | 集美大学 | 袁镇福 | 浙江大学宁波理工学院 |
| | 浙江大学 | 郭培红 | 河南理工大学 |
| | 上海交通大学 | 高青 | 吉林大学 |
| | 北京理工大学 | 崔海亭 | 河北科技大学 |
| | 大连海洋学院 | 章学来 | 上海海事大学 |
| | 西南交通大学 | 程有凯 | 大连海洋学院 |
| | 兰州理工大学 | 舒水明 | 华中科技大学 |
| | 大连交通大学 | 谢晶 | 上海海洋大学 |
| | 天津大学 | 谢诞梅 | 武汉大学 |
| | 华北电力大学 | 颜伏伍 | 武汉理工大学 |
| | 河北工业大学 | 黎苏 | 河北工业大学 |
| 秘书：蔡开颖 | 机械工业出版社 | | |

前 言

本书为全国热能与动力工程专业教材编审委员会审议确定的规划教材，由大连海洋大学、上海海洋大学、山东大学三校联合编写完成。

本书以冷库制冷工艺为主线，结合运输、小型及专用制冷装置，讲述了制冷工艺理论与方法；以气体液化和天然气液化流程阐述了低温工艺的理论与方法。

本书专业性强，覆盖面广，实用性强。在编写上力求理论与实践结合，学习与应用结合。各位编写者以自己的教学实践、专业实践和科研成果结合行业发展实际认真完成编写工作。

编写分工：大连海洋大学程有凯撰写第一章的第三、四节，高红岩撰写第二章，杨春光撰写第四、五章，张丽撰写第一章的第六、七、九节；上海海洋大学谢晶撰写第一章的第一、十节，谈向东撰写第一章的第五、八节；山东大学韩吉田撰写第三章，王美霞撰写第一章的第二节。其中，张丽协助主编完成了成稿的大量整理和修改工作。

集美大学张建一教授担任本书的主审，并提出许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于内容涉及面广，编写人员多，难免有不周与遗漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 冷库制冷工艺	1
第一节 概述	1
第二节 制冷设备的选型与计算	26
第三节 氨制冷系统	59
第四节 氟利昂制冷系统	65
第五节 机房制冷设备的布置	69
第六节 制冷系统的供液方式	76
第七节 库房制冷工艺	79
第八节 制冷系统管道工艺	97
第九节 复叠制冷工艺	117
第十节 食品速冻装置	127
第二章 运输用制冷装置	135
第一节 概述	135
第二节 冷藏汽车	137
第三节 铁路冷藏车	140
第四节 船舶冷藏装置	143
第五节 冷藏集装箱	147
第三章 小型及专用制冷装置	151
第一节 冰箱、冷柜与陈列柜制冷工艺	151
第二节 低温试验箱	155
第三节 空调及热泵制冷工艺	159
第四章 低温气体液化系统	167
第一节 低温导论	167
第二节 低温工艺基础	169
第三节 气体液化的基本概念及热力学理想系统	174
第四节 以节流为基础的液化循环	176
第五节 带膨胀机的循环	189
第六节 氨液化系统	196
第五章 天然气液化系统	200
参考文献	207

第一章 冷库制冷工艺

第一节 概 述

一、冷库的作用、分类与组成

1. 作用

各种不同类型的建筑物都是为了满足人们的物质生产和文化生活的需要而建造的。

冷库（又称为冷藏库）是主要用于食品冷加工及冷藏的建筑物，是一种具有隔热围护结构的特殊建筑物，通过人工制冷，使室内保持低温环境。它包括各类库房、氨（氟利昂）制冷机房、变配电室及其附属建（构）筑物。

冷库可以供调节淡、旺季，保证市场供应，执行出口任务和做长期储备之用。换句话说，冷库是城市的“冰箱”。

冷库不同于一般工业或民用建筑，主要表现在受生产工艺条件的制约。它要为易腐食品在低温条件下，完成冷却—保鲜—冻结—冷藏等工艺作业；为保持食品的色泽、味道和营养价值提供必要条件，这个必要条件就是“冷”。按冷库使用性质的不同，冷间温度一般在 $10 \sim -40^{\circ}\text{C}$ 范围内，故冷库建筑必须采用相应的技术措施，以适应它的特点。

随着技术经济的发展和人民生活质量的不断提高，对食品冷加工和贮藏的要求也相应提高，并由此提出了发展和完善食品冷藏链的要求。冷库是食品冷藏链中的一个重要组成部分，是不可缺少的重要环节。

2. 分类与组成

(1) 冷库的类型 冷库的分类方法很多，目前我国按冷库的实用性质和冷库的建设规模来分类。国外有根据建筑特点、防火等级或库温高低来进行分类的。

冷库的类型多样，详见表 1-1。各种冷库均有其自身结构、用途、制冷、调节等方面的特点。

表 1-1 冷库的基本类型

分类方式	类 型
按冷库的用途	原料冷库、生产性冷库、分配性冷库、中转性冷库、综合性冷库（含生产性和分配性双重作用）、与商品销售环节结合的各类商业用冷库（零售性冷库，包括冷藏柜、陈列柜）
按冷库的建筑类型	土建式冷库、装配式冷库
按冷库的库温范围和要求	高温库（冷却物冷藏间）、低温库（冻结物冷藏间）、超低温冷库（库温 -45°C 以下）、变温冷库
按冷加工方法	冷却库、冷却物冷藏库、冻结库、冻结物冷藏库、解冻库、制冰间、贮冰库、气调库

分类方式	类 型
按冷库容量分类	大型冷库 >20000m ³
	中型冷库 5000 ~ 20000m ³
	小型冷库 <5000m ³
按贮藏的商品	畜肉类冷库、蛋品冷库、水产冷库、果蔬冷库、药物或生物制品冷库、冷饮品库，以及茶叶、粮食、皮革和花卉等冷库

注：以上各冷库的组成库房也称为冷间。

(2) 冷库的组成 冷库是一个建筑群，主要由主体建筑（主库）、其他生产设施及附属建筑组成。

1) 主库。主库为冷库的主体，其组成可按生产加工工艺的需要和商品冷加工工艺的要求，由生产加工区、贮藏区、进出货及其操作区组成。这三个区域可由以下基本内容组成：

① 冷却间。冷却畜肉类、鲜蛋或果品蔬菜等产品的场所。畜肉类冷却间的功能是把屠宰加工后的胴体或分割制品，在规定的时间内冷却至 0 ~ 4℃，然后贮存或直接供应市场；鲜蛋在低温贮藏前需进行冷却，以免贮藏时骤然遇冷，内容物收缩，空气中的微生物从蛋壳气孔侵入，使鲜蛋变坏；果蔬冷却间是把采摘和收获的果蔬整理后，迅速冷却降温，除去田间热，但要注意防止果蔬发生生理病害，然后进库贮藏或进入市场。果蔬冷却的方式有水冷式冷却、风冷式冷却、差压式冷却和真空式冷却等。

② 冻结间。用于食品冻结的场所，将需长期贮藏的食品由常温或冷却状态迅速降温至中心温度 -18 ~ -15℃ 的冻结状态。冻结间可以是有隔热围护结构的建筑物内设冻结设备，也可以是带有隔热设施的冻结装置。常见的冻结间有搁架式冻结间和鼓风冻结间。除了平板冻结机外，冻结装置大多采用连续冻结，如流态化冻结机、螺旋式冻结机和隧道式冻结机、液氮冻结机等。其冻结方式有风冻式、接触式、半接触式、浸渍式和喷淋式等。

③ 制冰间。制冰间消耗的冷量较大，应靠近设备间布置。制冰间的建筑不同于冷库，建筑物本身一般不需要隔热，但应有较好的采光、通风和排水条件，而制冰设备则需要隔热设施。如盐水制冰的制冰池，其四周和底部均需设隔热层，顶部要加木板盖；管冰机和颗粒冰机的蒸发器也应予以隔热；片冰机和板冰机的周围应设置隔热板。

④ 贮冰库。贮冰库又简称冰库。贮冰库的建筑一般和冷却物冷藏间相同。通常贮冰库的冷却系统接入 -15℃ 的蒸发温度系统，以保持贮冰库 -4（盐水制冰）~ -10℃（快速制冰）的库温。贮冰库的围护结构应作隔热处理。贮冰库一般采用光滑排管作冷却管，内壁敷设竹料或木料护壁，以保护墙壁不受冰块的撞击。库内可设提冰和堆垛设备。

⑤ 原料暂存间。在速冻蔬菜厂、冷饮品厂和冷冻食品厂等，均设有原料暂存间，用于贮藏季节性大量到货的商品，或者生产加工中的原料和半成品等。根据需要，原料暂存间应设有冷却降温系统，维持其一定的低温存放环境。

⑥ 低温加工或包装间。根据食品卫生的要求，食品加工和包装一般需要在 6 ~ 15℃ 室温的车间内进行。这样的车间必须设置冷却设备，并考虑操作人员对新鲜空气的要求。

⑦ 解冻间。解冻间一般用于冷冻食品加工厂。通过用空气、水或水蒸气减压、电解冻等方法，对冻结物原料进行加热，使其温度升至 0 ~ -2℃，以便于分割加工。

⑧ 冷却物冷藏间。冷却物冷藏间又简称为高温库，根据用途不同，库温范围为 $10 \sim -2^{\circ}\text{C}$ 。根据不同的商品及贮存期要求，确定相应的冷间温、湿度。冷却物冷藏间多用于贮存水果、蔬菜、鲜蛋、花卉、药品、贵重皮革、中药材，以及高档家具和衣物等商品。由于水果、蔬菜、鲜花等鲜活商品在贮藏过程中仍有呼吸作用，库内除保持合适的温湿度条件外，还要引进适量的新鲜空气，因此，须设有通风换气装置。

⑨ 冻结物冷藏间。冻结物冷藏间又简称为低温库，其库温范围为 $-18 \sim -35^{\circ}\text{C}$ 。一般肉类的冷冻贮藏温度为 $-18 \sim -25^{\circ}\text{C}$ ，水产品贮藏温度为 $-20 \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，冰淇淋制品贮藏温度为 $-23 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 。某些特殊的水产品（如冻金枪鱼）要求更低的贮藏温度，达 -45°C 以下（所谓的超低温冷藏间）。我国通常采用的冻结物冷藏间温度为 $-18 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 。

⑩ 穿堂。穿堂是冷库货物进出的通道，并起到联系各库（间）的交通枢纽、便于装卸周转的作用。穿堂按温度要求的不同，有低温、定温（也称中温）和常温三种。从有利货物进出时的质量保证（完善的冷藏链）和冷库节能方面考虑，以定温穿堂为宜，其温度范围为 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。若有特殊要求，可为 0°C 左右，甚至更低。

⑪ 月台。供装卸货物之用。为适应装卸作业，有铁路月台、汽车月台和联系月台之分。大中型冷库的铁路月台，应视机械保温列车的长度或车辆节数而定，一般有 128m、220m 等不同长度，月台的宽度和长度具体见表 1-2，铁路月台应高于钢轨面 1.1m。

表 1-2 铁路月台的宽度和长度

冷库规模/ m^3	月台宽度/m	月台长度/m
大型冷库 (>20000)	9	220
中型冷库 ($20000 \sim 5000$)	7~9	220
小型冷库 (<5000)	7	128

汽车月台的长度按冷库的类型、货物吞吐量和运输方式确定。汽车月台长度每 1000t 冷藏容量约为 $6 \sim 9\text{m}$ ；宽度由货物周转量的大小、搬运方式不同而定。对于公称容积大于 4500m^3 的冷库，月台宽度可取 $6 \sim 8\text{m}$ ；公称容积小于或等于 4500m^3 的冷库，月台宽度可取 $4 \sim 6\text{m}$ 。汽车月台的高度应高于路面 $0.9 \sim 1.4\text{m}$ ，视进出最多的运输车辆高度一致，也可设置月台高低调节板。

冷库月台可分为敞开式和封闭式两种。敞开式月台多为罩棚式，设有较大跨距的立柱，立柱中心至月台边缘约 $1.2 \sim 1.5\text{m}$ 。铁路月台边缘距铁路中心线的水平距离为 1.75m 。封闭式月台适用于汽车装卸，月台内一般维持定温穿堂的温度。它不仅供货物装卸，也可供理货或暂存。封闭式月台的装卸口一般设有电动滑升式隔热门、软性接头和月台高度调节板。封闭式月台在装、卸货过程中，基本不受外界气温的影响，符合食品冷藏链的工艺要求，可较好地保证食品质量。这种新型结构的月台，目前一些新建大、中型冷库采用较多。

⑫ 门斗。门斗一般设于冷库（间）内，在冷藏门的内侧。其作用是减少库内、外的热湿交换。门斗的形式有保温型和非保温型、固定式和非固定式。通常门斗与冷藏门配套的风幕和透明塑料门帘组合，可以有效地阻止库内外热湿交换。

⑬ 楼梯、电梯间。多层冷库设置楼梯间和电梯间，作为货物垂直运输和人员上下之用。楼梯、电梯间应符合消防生产和安全要求，其大小和数量视货物吞吐量而定，位置以方便货

物进出为准。冷库电梯的运输能力常用 2t 和 3t 型,其运输能力分别为 13t/h 和 20t/h。

2) 生产设施。生产设施及其配置的建筑物,均根据生产工艺的需要而确定。生产设施中与制冷有关的内容,除了上述主库的①~⑥之外,还有屠宰车间、理鱼间或整理间、工艺冷却室、快速冷却和冷冻去皮机等设施。

3) 附属建筑。冷库的附属建筑按冷库的功能及生产需要而配,其基本组成如下:

① 主机房。主机房设有制冷压缩机或机组、中间冷却器和配用设施等。主机房一般有两个进出口,大小应考虑设备和人员方便进出。主机房大多在主库附近单独设置,也有将主机房布置在楼层,以提高土地的利用率。对于单层冷库,也有在每个库房外分设制冷机组,采用分散式制冷系统,不设集中供冷的机房。主机房门窗应向外开启,并有良好的采光、通风条件。主机房温度一般不低于 12℃,通风设备采用防爆型,高寒地区冬季应采用非明火采暖设备。

冷库主机房一般采用单层建筑,净高 4~6m。其操作维修通道宽度应大于 1.5m,宜作隔振、降噪声处理。另外,为了放置制冷辅助设备,通常在主机房相邻处设辅助设备间。水泵房因噪声较大,一般单独设立,其建筑结构要求随主机房。在小型冷库中,因机器设备不多,主机房和设备间可以合为一间。

② 电控室和变、配电间。电控室内设有制冷压缩机和辅助动力设备的电气起动控制柜、制冷系统的操作控制柜,并可配以模拟图或数据采集系统,以及主、辅机运行操作流程和安全报警系统。自动化程度较高的冷库,主、辅机房内的电控室,可实现遥控指令操作或全自动控制,控制室内的噪声应不超过 70dB(A)。冷库变、配电间一般靠近主机房,并有良好的通风条件和满足消防要求。变、配电间内的具体布置视电器工艺要求而定。

③ 其他辅助设施。充电间、发电机房、锅炉房、氨库(存放制冷剂用)、化验室、浴室、办公室,以及休息更衣室等,它们是冷库群体不可少的辅助设施。

冷库库房与辅助建筑的卫生防护距离、消防和防爆要求,均应符合 GB 50072—2010《冷库设计规范》和国家现行的有关强制性标准的要求。

二、我国冷库的现状与发展趋势

中国每年易腐食品的生产量高达 10 亿 t,其中有相当大的部分必须依靠冷藏链物流保存,以保持其新鲜度和质量,因而作为冷藏链物流的主要环节——冷库,历年来都有发展。全国已从新中国成立初的约 3 万 t 库容量发展至今近 1000 万 t,但人均占有冷库容积和发达国家相比仍有不小差距,每年腐败损耗量十分惊人。

进入 21 世纪以来,尤其在加入 WTO 后,我国冷库建设有了新的发展。今后我国冷库建设应坚持科学发展观,与国际接轨,按现代物流的要求,以确保食品安全为准则,重视节能环保和环保,以使我国的冷藏业得到可持续发展。

1. 中国冷库建设的现状

(1) 容量和规模

1) 冷库容量。从 20 世纪 70 年代起,各地冷库容量增长较快,至 2002 年底,全国冷库总容量已突破 700 万 t,其中,畜肉类冷库容量为 400 万 t(中国肉类协会统计),水产冷库为 162 万 t(2002 年中国水产年鉴),全国供销系统的果蔬冷库为 90 万 t。此外,外贸、轻工系统及外资、港台商和民营企业也各拥有相当数量的各类冷库。至 2006 年,全国冷库容

量约为 880 万 t (中国制冷学会资料), 折成库容积约为 3800 万 m^3 , 其中, 冷却物冷藏库约 160 万 t。

我国冷库容量近年来增长较快, 但与发达国家相比, 仍有不小差距。2003 年美国、日本统计资料显示, 美国冷库容量为 8848 万 m^3 , 日本冷库容量为 5740.5 万 m^3 。按人均占有的冷库容积计算, 美国是中国的 10.30 倍, 日本是中国的 15.73 倍。

2) 中国的大型冷藏企业。从 20 世纪 80 年代起, 我国冷库建设出现一个现象, 新建了一批由多座单体万吨级冷库组成的“冷库群”, 这对降低建设成本和运行能耗、规范管理都是有利的, 并形成了数家中国冷藏行业的“航空母舰”企业。如上海锦江国际低温物流发展有限公司下属吴泾冷藏公司、北京东方友谊食品配送公司、辽宁省大连海洋渔业集团公司冷冻厂和浙江省杭州联合肉类集团有限公司冷藏分公司等。

吴泾冷藏公司建造于 20 世纪 80 年代初, 由冷库总容量为 26 万 m^3 的四座万吨级单体冷库 (每座高 7 层、1.3 万 t) 构成, 其低温冷藏总容量为 52000t, 高温冷库容量为 1200t 及冻结间 52t/次, 配有完整的运输设施, 建有三股道铁路专用线, 沿黄浦江有万吨级的固定深水码头和千吨级专用浮动码头, 有八个公路月台, 可供近百辆汽车同时装卸作业。

辽宁省大连海洋渔业集团公司冷冻厂经过几年扩建, 至今已拥有由六座大型冷库组成的、国内最大的水产品冷藏基地。总容量达 11.6 万 t, 其中 1 号和 3 号冷库库容为 8000t, 2 号冷库 5000t, 4 号和 5 号冷库各为 3 万 t, 6 号冷库 3.5 万 t, 并拥有制冰能力 300t/日。该冷库群年货物吞吐量超过 60 万 t, 毗邻大连湾渔港码头, 距离沈大高速公路金州出口 8km, 铁路专用线延至冷库站台。

(2) 冷库功能与管理体制 在计划经济时代, 冷库主要是按产权所属系统和贮存商品的种类划分管理。改革开放以来, 外资、港台商和民营企业进入冷藏行业, 尤其在浙江、山东、福建、广东等省已占有相当比例, 现已形成多种经济成分共存的格局。从 20 世纪 90 年代中期起, 一部分冷库的服务功能开始面向市场, 逐步向社会公共冷库过渡, 即从计划经济时期的“旺吞淡吐”的“蓄水池”逐步向“冷藏链物流配送中心”方向发展。

(3) 建造方式 中国现有的冷库中, 建于 20 世纪七八十年代的多层土建式冷库占大多数, 以上海市为例, 若按容量计算, 土建式冷库要占全市冷库总容量的 82.41%; 若按座数统计, 土建式要占总座数的 86.13%。但 20 世纪 90 年代起新建的冷库, 绝大多数已采用单层、高货位的预制装配式夹心板的做法, 现场安装迅速, 大大缩短了建库周期。

(4) 制冷新技术、新设备得到了广泛应用

1) 制冷设备逐步更新换代。开启型活塞式制冷压缩机一统天下的局面已得到了改变, 由于螺杆式压缩机具有运行可靠、能效比高、易损件少和操作调节方便等优点, 它正逐步替代活塞式压缩机, 占据着越来越大的市场份额。以节电、节水为主要特点的蒸发式冷凝器正在逐步推广应用。从 20 世纪 70 年代末起, 有些冷库, 特别是轻型冷库采用强制空气循环的冷风机替代传统的自然对流降温方式的顶、墙冷却排管。

2) 食品冻结技术的快速进步。随着我国食品结构和包装形式的变革, 特别是小包装冷冻食品业的快速发展, 食品冻结方式有了重大变革。从 20 世纪五六十年代起广为采用的间歇、慢速的库房式和搁架式冻结间已改为快速、连续式冻结装置 (隧道式、螺旋式、流态化等)。

冻结室的温度已从 $-33 \sim -35^\circ\text{C}$ 降至 $-40 \sim -50^\circ\text{C}$, 因而加快了冻结速度, 提高了冻品

的质量。

3) 制冷系统与供液方式逐渐趋于多样化。以往,大中型冷库基本上都是采用集中式的液泵强制循环供液系统,近年来,对多种蒸发温度要求的食品冷库,分散式的直接膨胀系统由于具有系统简单、施工周期短、易于自控等优点,也得到了广泛应用。

4) 制冷剂。目前中国的大中型冷库大多采用氨(R717)或R22作为制冷剂,小型冷库则多采用R22作为制冷剂。上海和广州机场配餐中心的冷藏工程,于1999年及2002年先后从日本三洋公司进口的制冷压缩机组中,采用了近共沸制冷剂R404A。R22属HCFC类制冷剂,由于其消耗臭氧潜能值 $ODP \neq 0$,其温室效应潜能值 $GWP = 1700$,所以它不是一种长期理想的制冷剂,最终将被淘汰。而R404A的 $ODP = 0$,而且其标准沸点比R22低,可以实现低达 -45°C 的蒸发温度。

5) 冷库制冷系统的自控技术应用。大、中型冷库基本上都实现了对库温、制冷系统压力、设备运行状态等的实时显示和自动记录,并设有较完善的安全保护装置。

(5) 专业性冷库有了一定的发展 从20世纪80年代中期起,除了传统的冷却物冷藏库、冻结物冷藏库以外,我国各省市陆续兴建一批专业性冷库,如变温库(多用途冷库)、气调库、立体自动化冷库、超低温冷库、粮食冷库、生物制品冷库和化工原料冷库等,这对于完善我国现代冷藏技术体系起了促进作用。

2. 我国冷库与国际先进水平的差距

(1) 冷库的功能与经营观念 我国多数冷藏企业还没有真正认识到应从单纯“仓储型”向“物流配送服务型”角色转换的必要性和迫切性。而欧美的许多冷库按低温物流配送角度进行设计,而且正逐步发展成为社会公用设施。

(2) 冷藏设施 我国现有冷库中,属20世纪七八十年代建造的比例很高,硬件设施和管理方式难以符合现代物流配送中心的要求。而发达国家冷库的制冷设备更注重效率和自控水平。发达国家冷库制冷系统中主机以螺杆式制冷压缩机为主,并实现能量自动调节;均配置高效蒸发式冷凝器,并根据热负荷控制运行台数;库内蒸发器以冷风机为主,自动融霜,并降低蒸发器与库房库温之间温差(美国低温冷库库温与蒸发温度温差约 6.5°C);冷库设计和操作注意节水节电,充分利用系统排气余热;随着货物包装化的提高,库内货架逐渐普及。

(3) 冷库容量表示方法的差异 随着冷库储藏商品的多样性,设计文件中冷库容量应按冷库设计规范标注公称容积,不能以吨位标注,以免引起不必要的麻烦。

(4) 仓储信息化管理 发达国家对进出冷库的货物进行了信息化管理,如采用条形码技术。条形码是一种微型数据文件,将符号转换为可读的数据,在信息传输系统中,使冷库企业获得较好的客户服务水平,提高了仓库操作效率与正确率,推动仓库货位周转,从而实现无纸化仓库。即仓库的进货、出货、计数、结算、开单全部自动化操作,确保仓库操作高效、精确,对客户的服务时间可以节省50%,定货完成率从92%增加到99.9%,送货准时率从90%提高到99%。

(5) 注重食品安全 发达国家的冷藏物流公司十分注重食品安全,并实现全流程(即从进货验收、入库、仓储管理、流通加工、分拣理货、出货暂存到运输配送)严格控制温度与品质管理。

(6) 封闭型月台与卷帘门 冷库进出货作业时,要保持冷藏链不会“断链”,应将月

台设计为封闭型,在装卸口设置卷帘门、月台高度调节板和密闭接头。封闭站台、降温穿堂一般宽12~15m,高度5~6m,室温5~10℃,站台门为保温手拉卷帘门配液压升降台。

3. 中国冷库建设的未来发展趋势

(1) 功能将拓展 大部分新建的冷库,其功能将从“低温仓储”型向“冷藏链物流配送”型发展,而且面向社会的公共冷库,或称为第三方低温物流中心将快速增长。当然其设施应按低温配送中心的要求进行建造。例如库房温度带将较宽,以适应多品种商品的贮存。一般应拓宽至-25~+20℃;建造封闭式站台,并设有电动滑升式冷藏门、防撞柔性密封口、站台高度调节装置(升降平台),以实现“门对门”式装卸作业。

(2) 布局将调整 城市的物流发展规划调整现有冷库布局,构建各地区新的食品冷藏链物流配送体系。今后在城市建造冷藏链物流配送中心,都将离开市中心城区,并按城市的物流发展规划和道路网络,建在运输设施(公路、铁路、水运)便利、快捷的地区。

(3) 更注重环保和节能 冷库建设要走可持续发展道路,必将更注重两大问题:环境保护和能源效率。要采取切实措施在制冷系统中淘汰CFCs,限制HCFCs,改用HFCs及扩大使用氨、CO₂等作为制冷工质。国际制冷学会(IIR)要求:在未来的20年内,应“使每个制冷设备耗能减少30%~50%”。然而我国冷藏企业耗电的现状与发达国家相比还有一定差距。努力降低制冷能耗是每个企业提高市场竞争力和走可持续发展道路的必然选择。因而,今后这方面必将是技术革新的关注热点。

(4) 实施规范管理 食品安全已成为我国食品冷藏链物流发展必须遵循的重要原则。为了确保食品质量,现在强调从食品生产者到消费者之间流通的所有环节,即从原料产地、生产加工、低温贮藏、冷藏运输到零售的各个环节,都应保持适度的低温状态。

上海市经济和信息化委员会组织有关行业协会编制的上海市地方标准“食品冷藏链物流技术与管理规范”已于2007年5月经上海市质量技术监督局组织会审通过,并于2007年10月起在上海市实施。这是中国第一个关于冷藏链物流规范管理的地方标准,期望不久的将来,国家有关部门能组织力量编制出食品冷藏链规范的国家标准。如何确保食品从“田间到餐桌”的全程安全应成为全社会的共识。

(5) 行业协会将发挥更大的作用 在市场经济形势下,由于原有行政管理体制的变革,冷库协会将进一步发挥“服务企业、规范行业、发展产业”的作用。如参与、协调各地区冷库的规划布局、选址和设计方案研讨;受政府或企业的委托,组织或参与编制冷藏链物流的技术与管理规范、标准;行业信息统计、发布;代表行业与政府有关部门沟通、协调冷冻加工与冷藏收费标准;组织企业与海内外同行进行冷藏技术与冷库管理的交流与合作,特别是加强与IARW/WFLO/IRTA的交流,借鉴国外发达国家的经验,推动我国冷藏链物流业的发展;组织人才培训。

三、冷库的库容确定

冷库的冷却物冷藏间和冻结物冷藏间的容量总和,称为该冷库的总容量。冷库的容量有三种表示方法:①公称体积,为冷藏间或贮冰间的净面积(不扣除柱、门斗和制冷设备所占的面积)乘以房间净高而得;②冷库计算吨位,以代表性食品的计算密度、冷间的公称体积及其体积利用系数计算而得;③冷库实际吨位,按实际堆货的情况计算而得。

公称体积是较为科学的描述，是与国际接轨的方法；计算吨位是国内常见的方法；实际吨位是具体贮藏的计算方法。

1. 冷库库容

冷库或冰库计算吨位的计算式为

$$G = \frac{\sum V_i \rho_s \eta}{1000} \quad (1-1)$$

式中 G ——冷库或冰库计算吨位，单位为 t；

V_i ——冷藏间或冰库的公称容积，单位为 m^3 ；

η ——冷藏间或冰库的容积利用系数，冷藏间容积利用系数不应小于表 1-3 的规定值，冰库容积利用系数不应小于表 1-4 的规定值；

ρ_s ——食品的计算密度，单位为 kg/m^3 ，见表 1-5。

表 1-3 冷藏间容积利用系数

公称容积/ m^3	容积利用系数 η
500 ~ 1000	0.40
1001 ~ 2000	0.50
2001 ~ 10000	0.55
10001 ~ 15000	0.60
> 15000	0.62

注：1. 对于仅贮存冻结食品或冷却食品的冷库，表内公称容积为全部冷藏间公称容积之和；对于同时贮存冻结食品和冷却食品的冷库，表内公称容积分别为冻结食品冷藏间或冷却食品冷藏间各自公称容积之和。

2. 蔬菜冷库的容积利用系数应按表 1-3 数值乘以 0.8 的修正系数确定。

表 1-4 冰库容积利用系数（仅适用于块冰）

冰库净高/m	容积利用系数 η
≤ 4.20	0.40
4.21 ~ 5.00	0.50
5.01 ~ 6.00	0.60
> 6.00	0.65

表 1-5 食品计算密度

序号	食品类别	密度/ (kg/m^3)
1	冻肉	400
2	冻分割肉	750
3	冻鱼	470
4	鲜蛋（箱装）	260
5	鲜蔬菜	230

(续)

序号	食品类别	密度/(kg/m ³)
6	鲜水果(箱装)	350
7	冰蛋(块状)	700
8	机制冰	750
9	其他	按实际密度采用

注:同一冷库如同时存放猪、牛、羊肉(包括禽兔)时,其密度均按400kg/m³计;当只存冻羊腔时,密度按250kg/m³计;只存冻牛、羊肉时,密度按330kg/m³计。

2. 冻结间和冷却间库容

1) 设有吊轨的冷却间和冻结间的冷加工能力的计算式为

$$G_d = \frac{lg}{1000} \frac{24}{\tau} \quad (1-2)$$

式中 G_d ——设有单轨的冷却间、冻结间每日冷加工能力,单位为t;

l ——冷间内吊轨的有效总长度,单位为m;

τ ——冷间货物冷加工时间,单位为h;

g ——吊轨单位长度净载货量,单位为kg/m;

吊轨单位长度净载货量 g 可按下列数值取值:

① 肉类。猪胴体:人工推动 $g = 200 \sim 265\text{kg/m}$;机械传动 $g = 170 \sim 210\text{kg/m}$ 。

牛胴体:人工推动(1/2胴体) $g = 195 \sim 400\text{kg/m}$;人工推动(1/4胴体)
 $g = 130 \sim 265\text{kg/m}$ 。

羊胴体:人工推动 $g = 170 \sim 240\text{kg/m}$ 。

② 水产品。水产品可按照加工企业的习惯装载方式确定。

吊轨的轨距及轨面高度,应按吊挂食品和运载工具的实际尺寸、冷间内通风间距及必要的操作空间确定。

2) 设有搁架式冻结设备的冻结间,其冷加工能力的计算式为

$$G_g = \frac{NG'_g}{1000} \frac{24}{\tau} \quad (1-3)$$

式中 G_g ——搁架式冻结间每日的冷加工能力,单位为t;

N ——搁架式冻结设备设计摆放冻结食品容器的件数;

G'_g ——每件食品的净质量,单位为kg;

τ ——货物冷加工时间,单位为h;

24——每日小时数,单位为h。

说明:由厂家提供的成套食品冷加工设备的加工能力,可根据制造厂所提供的数据确定。

四、冷库的绝热设计与计算

1. 冷库的隔热、防潮结构

冷库隔热、防潮结构,是指冷库外部围护结构的建筑部分和隔热、防潮层的组合。冷库建筑按其功能、容量大小、自然条件和投资等因素而不同,其隔热防潮结构有多层(如传

统土建式冷库) 和单层 (如装配式冷库) 两大类。

冷库隔热防潮结构的基本要求是：①隔热层有足够的厚度和连续性；②隔热层应有良好的防潮和隔热性能；③隔热层与围护结构应牢固地结合；④隔热防潮结构应防止受虫、鼠类侵害，并符合消防要求。

冷库隔热防潮结构具体可以根据冷库建筑形式的不同而不同，如图 1-1 所示。

(1) 土建冷库的隔热、防潮 传统的单层、多层冷库隔热防潮层，应有良好的连续性，即冷库外墙内壁隔热层与库顶，地面或单层冷库地板的隔热层连成一体，防止产生“冷桥”。

为了防止隔热层受潮，应将防潮层做在隔热层的高温侧，以有效阻止水蒸气由高温侧向低温侧渗透。冷库底层或单层库地坪，应铺设防潮和防水层，并保证其与墙体底部的防潮层相连接，以避免相接处水气的渗透。

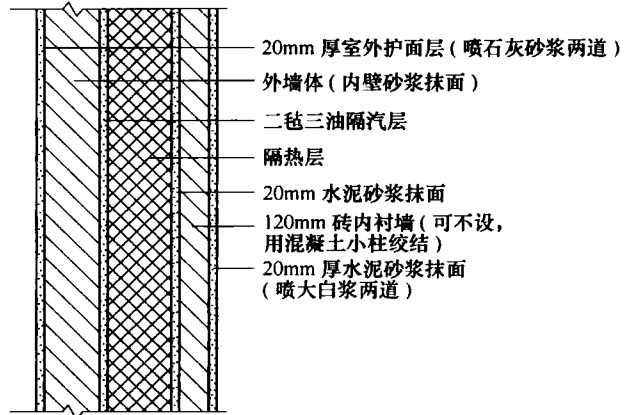


图 1-1 冷库墙体隔热防潮结构

(2) 装配式冷库的隔热、防潮 装配式冷库一般均为单层结构，其隔热材料是专业工厂制造的隔热预制板，由芯材和面板组合而成，既能隔热又能隔汽。

装配式冷库用的预制隔热板，由单层或多层隔热材料粘贴组合或浇制（发泡）而成。地墙隔热层应选用密度较大、能承重的硬质泡沫塑料芯材。单层预制隔热板大多在面板内浇注隔热泡沫塑料，其密度小、重量轻、隔热性能高。装配式冷库预制隔热板的面板与芯材必须粘贴牢固。常用的隔热芯材多为聚氨酯泡沫塑料或聚苯乙烯泡沫塑料，其面板有镀锌钢板、彩色钢板、平铝板，压花铝板、不锈钢板等。根据装配式冷库的隔热结构要求，预制板的厚度可以 50~250mm 不等。

冷库围护结构隔热、防潮性能，直接影响到冷库内温度的稳定和食品冷却、冻结贮藏质量。选择良好的隔热、防潮材料和合理地配置，可以有效地降低冷库内温度的波动和冷库使用时间。新建冷库围护结构材料的选择与合理配置，可以降低建设投资，提高冷库的经济性。

2. 冷库绝热的设计与绝热材料选择

隔热材料的选择应符合下列规定：①热导率小；②不散发有害或异味等对食品有污染的物质；③难燃或不燃烧，且不易变质；④块状材料应温度变形系数小，易于在施工现场分割加工，且便于与基层粘合；⑤铺贴于地面、楼面的隔热材料，其抗压强度应不小于 0.25MPa；⑥除个别地区外，宜优先选用块状隔热材料。

冷库常用隔热材料，传统冷库多用软木板、聚氨酯泡沫塑料及聚苯乙烯泡沫塑料等。近年来，新型冷库已较广泛使用硬质聚氨酯泡沫塑料、聚乙烯（PEF）发泡体、泡沫玻璃及挤压型聚苯乙烯泡沫塑料等。它们的基本特性、规格及性能指标，见表 1-6 和表 1-7。

表 1-6 冷库常用隔热材料主要特性和性能指标

材料名称	材料特性、规格	密度 /(kg/m ³)	抗压强度 /MPa	热导率 /[W/(m·K)]
软木板	热导率小、抗压强度较高的块状隔热材料。但价高，难以施工，性能差别较大 由 3~8mm 软木颗粒制成板，厚度为 25mm、50mm、70mm、100mm，长为 914mm，宽为 305mm	170	≥0.4	0.07
膨胀珍珠岩	白色多孔颗粒状散料，热导率小，抗压强度大，但易吸湿	82~150	—	0.087
聚苯乙烯泡沫塑料	轻质，隔热性能好，耐低温，易吸水，施工需用沥青等粘合剂粘贴 常用规格：2000mm×1000mm×(50~100)mm； 1000mm×500mm×(50~100)mm	18~40	≥0.15	0.046
硬质聚氨酯泡沫塑料	轻质，强度高，隔热性能好，成型工艺简单，可预制、现场灌注发泡成型或喷涂，阻燃性能好	35~55	≥0.2	0.031
聚乙烯发泡体	隔热、防振、隔声的材料，热导率小，抗湿，耐水，耐低温，阻燃，抗老化，PEF 发泡体胶粘工艺要求较高	24	—	0.033
低密度闭孔泡沫玻璃	一种新的隔热材料，其密度和热导率较小，抗压，吸水率极低。适用于-200~400℃，价格较高	140~180	0.5~0.7	—
挤压型聚苯乙烯泡沫板	一种连续挤压成型的隔热板，抗压，抗湿，热导率低，适用于冷库地面。作为装配式冷库隔热板的芯材，其复合板可用于冷藏间或冻结间侧壁及顶板	28~45	0.25~0.3	—

表 1-7 冷库常用隔热材料的物理性能指标

材料名称	规格	密度/ (kg/m ³)	热导率/ [W/ (m·K)]	设计用热 导率/[W/ (m·K)]	热扩散 率/ (m ² /h)	比热容/ [kJ/(kg· K)]	蓄热系数/ [W/(m ² · K)]	蒸气渗 透率×10 ⁵ / [g/(m· h·Pa)]	备注
碎石混凝土		2280	1.5119	1.5119	3.33	0.7118	13.3629	4.50026	
钢筋混凝土		2400	1.5468	1.5468	2.77	0.8374	14.9446	3.00024	
砖砌墙体		1800	0.8141	0.8141	1.85	0.8792	9.6529	10.50084	
水泥砂浆	1:2:5	2030	0.9304	0.9304	2.07	0.7955	10.3507	9.00073	
建筑钢材		7899	58.15	58.15	58.28	0.4665	120.953	0	
木材	红松	510	0.4419	0.4419	1.40	2.2190	6.0476	3.42028	
玻璃纤维板		60	0.0372	0.07556	1.90	1.1722	0.4419	48.7539	
矿渣棉	填充密实	90	0.0349	0.0814	1.26	1.0467	0.4652	48.7539	